

今後の我が国における核燃料サイクル・プルトニウム利用を

どのように考えればよいか

—主に余剰プルトニウム問題の観点から—

平成26年8月

国際保障学研究会

今後の我が国における核燃料サイクル・プルトニウム利用をどのよう

に考えればよいか

－主に余剰プルトニウム問題の観点から－

1. はじめに

2012年9月にエネルギー・環境会議が示した「革新的エネルギー・環境戦略」では、2030年代に原子力発電稼働ゼロを可能とするよう政策資源を投入するとした。その後、政権交代に伴い、原子力発電利用の方向性が修正され、2013年12月に総合エネルギー調査会基本政策分科会から出された国の中長期的なエネルギー政策の方向性を示すエネルギー基本計画案では、原子力を「基盤となる重要なベース電源¹」と位置付けるとともに、核燃料サイクルも「着実に推進する」とした。しかし、その後、自治体選挙の争点の1つにも上げられこともあり、さまざまな議論がなされるなか、政府として2014年2月25日国の中長期的なエネルギー政策の方向性を決める「エネルギー基本計画」の原案をまとめ、4月11日には閣議決定された。ここでは原子力発電を「重要なベースロード電源²」という位置付けは維持されたものの「基盤となる」が削除されるなど政治的論争がなされたが、再稼働を進め一定規模の原子力を活用していく方針を明記するとともに、国内の原子力発電所などで保管されている約1万7000トンの使用済み核燃料の問題では「国が前面に立って取り組む」とした。また、高速増殖原型炉「もんじゅ」（福井県敦賀市）、核燃料サイクルについても「推進」の方向を維持するとした。

このようにエネルギー基本計画の議論において、燃料サイクルや高速炉路線維持が明記されたことは、すなわち我が国のエネルギーセキュリティにおけるプルトニウム利用政策の重要性が少なくとも認識されたと考える。しかし一方で原子力発電依存度をできる限り低下させるとする政府の基本方針は変わらず、また、必ずしも発生する原子力利用残存物、すなわち放射性廃棄物だけでなく、使用済燃料やプルトニウムをどのように扱っていくかについては的確な解は見出せていない。特に蓄積が懸念されるプルトニウムについては、当面回収される分離プルトニウム(但しMOXとして)や使用済燃料の取扱いについて、安全・核不拡散・核セキュリティ(3S)を含め明確な戦略プランを示していくことが重要な課題と思われる。

他方、福島第一原子力発電所事故の前後において、我が国を取り巻くエネルギーセキュリティにおける厳しい環境に変わりはなく、原子力発電依存度の低下にともないエネルギー供給上不確定要素の高い、またCO2排出量の多い化石燃料への依存度が上がって

¹ 常にほぼ一定の出力で運転できる(昼夜を問わず安定的に稼働できる)電源」

² 「発電コストが安く済み、昼夜を問わず安定的に稼働できる電源」

いる。このような観点からすれば、現時点でプルトニウム利用のエネルギー経済性は高くないものの、既に長年にわたり核燃料サイクル技術開発に携わってきた我が国が、今後も長期のエネルギー供給策としてプルトニウム利用を堅持し続けていこうとすることは順当な考え方であろう。

福島第一原子力発電所事故以降、使用済燃料の直接処分が議論されつつあるが、エネルギーセキュリティ以外の面からも、最終廃棄物の処分の含意について、すなわちプルトニウムやマイナーアクチニドなどを含んだ形での廃棄物処分について、核不拡散・核セキュリティや安全を含む長期的な観点から慎重に考えることが重要である。

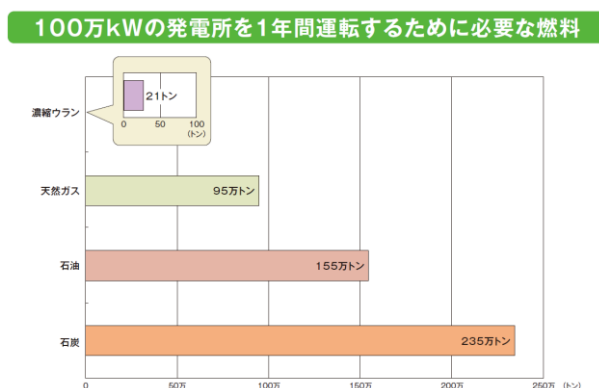
国際保障学研究会（東京大学大学院）では、上記の課題について、特にそこにおけるプルトニウム蓄積可能性の問題について、いわゆる「余剰プルトニウム」³を持つことなく、均衡のとれた、核燃料サイクルを実現し維持するためには如何にすればよいかについて、わが国が置かれた立場を考慮し、さらに日本の特徴（歴史的背景、非核兵器国で唯一フル燃料サイクルを先導など）を踏まえ、長期的観点から、柔軟性のある方向性について技術的なオプションを含め検討した。

2. 核燃料サイクルに係る基本的理解

1) エネルギーセキュリティ・経済性など

一般に、相対的に安価で、安定で、あわせて地球温暖化対策に優れたエネルギーの確保が不可欠である。この観点から、原子力発電（ウラン燃料ベース）の特徴を再確認すれば下記のようなことが挙げられる⁴。

- ① 原子力発電は少量の燃料で大量の電気が作れること（下図⁵）、また常にほぼ一定の出力で運転を行う「ベース供給力」を有すること（次頁左図）-電力供給の安定性。
- ② 地球温暖化の原因になる温室効果ガスの放出がごくわずか。ウラン燃料はリサイクル利用が可能。（特に資源の乏しい日本のエネルギーセキュリティにおいて、化



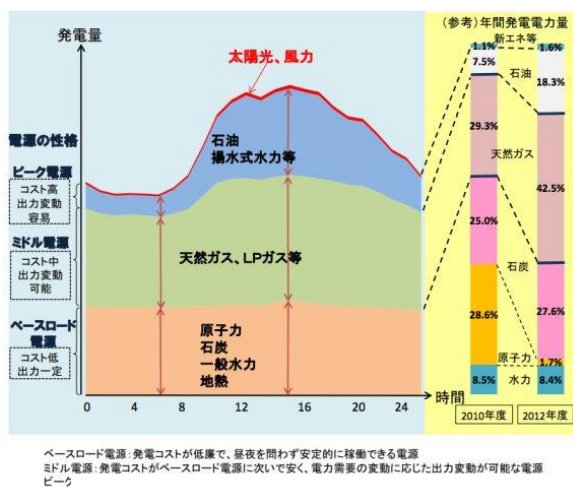
³余剰プルトニウム＝「利用目的のないプルトニウム」：原子力政策の基本方針である「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」（平成12年11月24日原子力委員会）において、「我が国のプルトニウムの利用については、利用目的のない余剰プルトニウムは持たないという原則を踏まえて、透明性を一層向上させる具体的な施策を検討し、実施していくことが重要である」と示している。この他に、「我が国におけるプルトニウム利用の基本的な考え方について」（平成15年8月原子力委員会）において、プルトニウム利用の透明性向上の観点から利用目的の明確化のための措置などについてとりまとめるなど、利用目的のないプルトニウムは持たないことを原則としている。

⁴ 電事連：<http://www.fepec.or.jp/nuclear/state/riyuu/>、原子力発電（ウィキペディア）
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%8E%9F%E5%AD%90%E5%8A%9B%E7%99%BA%E9%9B%BB>、原子力発電のメリットデメリット <http://jp.meritdemerit.com/topic/424> 等を基に記述

⁵ 原子力・エネルギー図面集（2013）

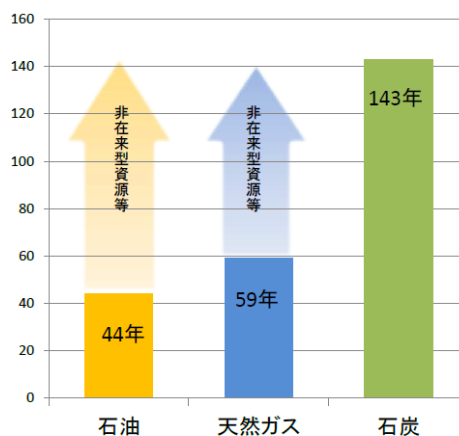
石燃料の可採期間（次頁右図）に比べた場合、プルトニウム利用を含めれば長期的観点で有利かつ重要）。

- ③ ウラン燃料の価格は化石燃料の価格と同様に社会的要因で変動をもたらすが、相対的には安定しており、発電コストの中で燃料費の占める割合は低い。また供給国が政情の安定した国々に分散しており、常に安定供給が得られる。
- ④ 発電による環境への影響が少ない（事故がないことが前提）。
- ⑤ 総合的・長期的に見て経済性が高い(同上)。
- ⑥ エネルギーの備蓄が容易である。



出典: 出典:「原子力・エネルギー」図面集 2012 4-1-1

資源の可採年数



(注) 確認可採埋蔵量について記載

出典: World Energy Outlook 2011, BGR2011

一方、リスクについては、国家による兵器転用、ゲリラ・コマンド等による破壊工作及び、テロリストを含む非国家主体によるテロ(サイバー攻撃による破壊工作等も含む)、原子力施設の事故などが代表的なものとしてあげられ、さらにチャレンジとして放射性廃棄物の取扱いや施設廃止や廃炉、処分の方法、処分場の確保などがあげられる。またウランは他の燃料に比べエネルギー備蓄が相対的に容易ではあるものの、ほぼ全てのウランが海外輸入に依存するものであるため、プルトニウム利用を含まない原子力ではエネルギーセキュリティ面での意義は減少する。

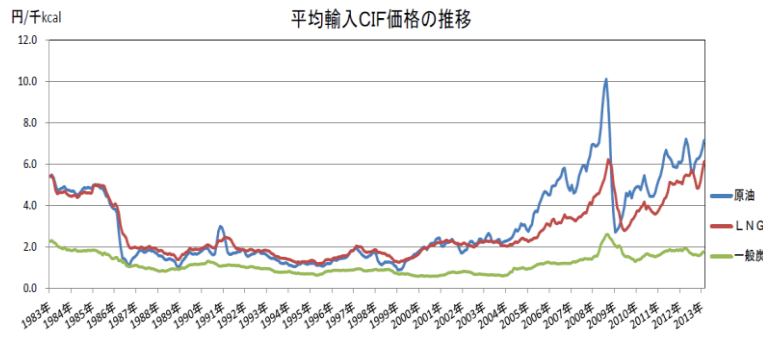
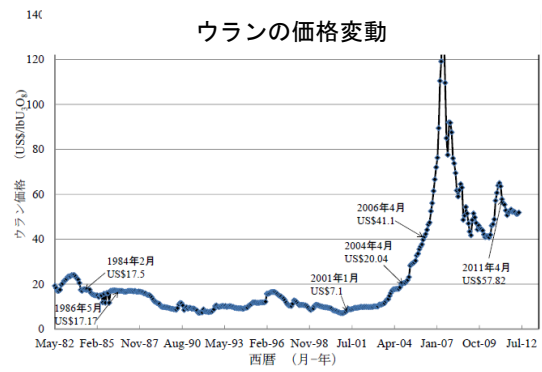
原子力の経済性については多くの検討がなされているが(例えば、エネルギー・環境会議のコスト等検証委員会(2012年)⁶)におけるモデ

核燃料サイクルコスト(クローズド、オープン比較) 円/kWh

バックエンドシナリオ	全量再処理		直接処分	
	2012	2012	2012	2004
モデル評価	再処理	直接処分	直接処分	直接処分
燃料サイクル	ウラン燃料	0.73	0.81	0.64
	MOX燃料	0.15	-	-
	フロントエンドトータル	0.88	0.81	0.64
	再処理	1.03	-	-
	中間貯蔵	-	0.09	0.12
	HLW 深層処分	0.08	-	-
	直接処分	-	0.10-0.11	0.12-0.21
バックエンドトータル	1.11	0.19-0.21	0.24-0.33	
燃料サイクルトータル	1.98	1.00-1.02	0.9-1.0	
原子炉	政府助成等	1.10		
	事故対応コスト	0.50		
	固定費	2.20		
	追加安全対策	0.20		
	操業・維持費	2.80		
原子炉トータル	6.80			

⁶ <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/sakutei/siryu/sakutei10/siryu2-2-3.pdf>

ル検討例においても原子力エネルギーはもっとも低コストのエネルギー源となっている)、ここではプルトニウム利用に限定し議論する。上述のように長期的なエネルギーセキュリティの観点からすれば高速増殖炉を含まないプルトニウム利用政策はその意義を限定的なものにすることは明らかであるが、廃棄されてきた 99.3%を占める U238 を最大限に有効活用する高速増殖炉の経済性については、長期的なエネルギーセキュリティのための技術開発であるという考え方をとれば、現時点でその経済性について、ウランを含む他の燃料と比較することはあまり意味をなさない。当面のプルトニウム利用としてもっとも現実的なオプションである軽水炉 MOX 利用について、原子力委員会-原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会が、直接処分との比較として、経済性を議論しているが(前頁右下表、委員会資料をもとに作成)⁷、ここでは、燃料サイクルオプションと直接処分の差について、それぞれの場合の原子力発電に係る総経費が、約 9 円および約 8 円において、約 1 円の差が存在することが分かる。プリンストン大学の Hippel は、プルトニウムの回収利用についてしばしば経済性から否定している⁸。確かにそのコストについて再処理費等を含めて議論すれば、上述のようにコスト高となるが、非核兵器国であり、かつ国土が狭いという我が国固有の特殊事情から考えれば、再処理を、廃棄物問題における環境負荷低減と核不拡散・セキュリティの両面での解決策と意義付けることもできる。またその場合、プルトニウムを単に副産物として軽水炉 MOX 利用すると考えることもできる。このような観点に配慮し、上記の差額を考察することが重要と思われる。また、ここで特記すべきことは、MOX 利用の場合、ウラン燃料に比べて燃料集合体の加工費が割高になるものの、海外依存の採鉱やウラン濃縮の必要性が軽減される点である。このことは、後述するように、エネルギーセキュリティの観点から、国産エネルギー資源の確保として十分考慮に値するポイントと考える。また、ウランは他のエネルギーほどではないものの、社会要因により大きく変動することから(右上下図参照)、仮にもプルトニウム利用を諦めるというオプションでは、単なる「諦め」に済まず、「諦め」行為自体が長期的なエネルギー源の見通しの欠乏に繋がり、その他のエネルギー源の高騰にもつながる可能性があることも否定できない。



⁷ <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryoy2012/siryoy22/siryoy1-2.pdf>

⁸ 例えば F.Von Hippel et al.: Nature Vol.485, 10 May 2012

2) 原子力発電への持続的な投資への課題

以上述べてきたように、核燃料サイクル全体として捉えた場合においても、他電源と比べて総合的・長期的に経済性に優れる原子力発電であるが、原子力事業者は、高いレベルの原子力技術・人材を維持し、今後増加する廃炉を円滑に進めつつ、福島第一原子力発電所事故の発生を契機とした規制強化に対し迅速かつ最善の安全対策を講じることが求められており、電力システム改革によって競争が進展した環境下においては、民間事業者主導の核燃料サイクルを含む原子力発電の推進が困難に直面することが予想される。

核燃料サイクルの推進はもとより、民間事業者による原子力発電への投資を可能としていた制度の源泉は、総括原価方式(サービスの提供に必要な費用(総括原価)を基に、当該サービスの料金が一定のルールの下で決せられる料金算定メカニズムであり、電力の他、鉄道、水道ガス等のインフラを担う公益事業において採用されている)による料金規制、一般担保付電力債の発行、及び売り上げの確実性を一定範囲で担保する「地域独占」システムであった。これらの制度環境の存在を前提として、事業者は、好条件で投資資金を調達することが可能であった。しかしながら、電力システム改革の進展により、これらの制度的な保証が消失するならば、事業者は従前のような好条件で投資資金を調達することが困難となり、原子力発電への新規投資(新增設・リプレース等)や核燃料サイクル事業への投資が阻害されることも予想される。

さらには、電力システム改革の進展により、原子力発電所も競争電源として、他電源や他の原子力発電所との価格競争の下に置かれる可能性がある。このような事態に至った場合には、各原子力発電事業者は、より安価な発電を企図するところとなり、核燃料サイクル推進にかかる追加的費用や、いわゆる余剰プルトニウム消費のためのMOX燃料利用にかかる追加的費用の負担を避ける可能性が高い。なぜならば、電力システム改革の進展により総括原価方式が廃止された場合には、これらの追加的費用の回収が不可能となるからである。

したがって、電力システム改革下において核燃料サイクル施策等を着実な形で推進していくためには、電力システム改革と同時並行的に何らかの適切な制度環境の整備が必要となり、速やかに検討を進めていくことが求められる。

3) 核燃料サイクルの本来的目的—高速増殖炉サイクルにおけるプルトニウム利用

我が国における高速炉技術開発においては多大な開発コストを費やしているにもかかわらず、高速増殖炉「もんじゅ」における長期の停止や、安全・核セキュリティ対策における不備において多くの問題が指摘されており、これらを解決することなく開発を先へ進めることはできない。一方で、我が国だけでなくグローバルなエネルギーセキュリティニーズ、すなわち人類のエネルギーデマンドと環境の両面を考慮した場合、現時点で、柱となりうる有力なエネルギー源の候補としては、火力-CCS(炭素回収貯留)、再生可能エネルギー、原子力の3つが挙げられると考えるが、特に、今後の潜在的な長期エネルギー資源としての観点に立てば、プルトニウム利用(核燃料サイクル)はその有力なオプションであることに違いはない。さらに、国土が狭く、隣国からの電力供給依存が容易でない島国であり、エネルギー自給率が非常に低いといった我が国の特殊性を考慮すれば、その特徴である「国産」とも言えるプルトニウム資源の確保は重要視すべきものであり、将来性を考慮したオプションとしての選定が重要と考える。

4) 高速増殖炉利用に至るまでの核燃料サイクル継続の意義

高速増殖炉開発を継続して行う場合においても、高速炉サイクルが経済的に成立するまで、すなわち、残存資源量や個々のエネルギーの経済性に有意な変化が現れるまでかなりの時間を要することが予想される。それまでの間、再処理によるプルトニウム回収をどのように位置づけるかが課題となる。前述のとおり、軽水炉による MOX 利用が現時点で最も現実的な対処法であり、MOX 燃料自体も潜在的エネルギー資源としての「資産」と考えることができる。また濃縮ウラン利用軽減策として、すなわちエネルギーセキュリティの観点での MOX によるプルトニウム利用の意義は十分考慮されるべき重要な論点であろう⁹。原子力発電所再稼働の遅れに連動した MOX 利用の遅れの可能性と共に、再処理の運転開始により当面利用しない MOX が増加するケースを想定し、これについて考え方を整理することが求められる。核不拡散の観点からすれば MOX 備蓄は近隣諸国に不要な懸念をあたえるなど政治的な問題となる場合がある。本問題については次章の核不拡散において議論する。

5) 六ヶ所再処理施設に係る社会的問題（30年程度の先までの予測）

一般論として、既に回収したプルトニウムを除き、プルトニウムの経済性がウランに接近する時期までは、使用済燃料の形態で貯蔵すること、すなわち再処理や直接処分等を急ぐ必要はないという原理的発想について異論はあまりないはずであろう。しかし、現実的には、六ヶ所再処理施設建設について多大な投資を行い、ほぼ完成していること、我が国の使用済燃料に係るこれまでの政策により、再処理されない場合は、六ヶ所施設に既に貯蔵される使用済燃料は発生元である各発電所サイトに返還されることになるという問題がある。

現在、使用済燃料は、17.3 キロトン¹⁰（以下約 17 キロトンとする）が再処理待ちであり、最大 44 基の原子炉が稼働すると仮定した場合、今後さらに 30 年に約 30 キロトンの使用済燃料が発生することが想定される。再処理をしない場合、合計約 47 キロトンの使用済燃料が国内に蓄積することになる。使用済燃料貯蔵キャパシティは、むつ市の使用済燃料中間貯蔵場（<50 年）は最大 5 キロトンであり、上記の各サイト返還分 17 キロトンと、今後発生する最大 25 キロトン（5 キロを差引いた量）をあわせた最大 42 キロトンは、各原子炉サイト内貯蔵に期待する以外にないことになる。但し、むつ中間貯蔵施設は、これまで再処理を前提として立地してきた貯蔵施設であるため、再処理が将来にわたって一定期間以上実施されない場合には、現実問題として、新たに何らかの貯蔵の手立てを講じる必要が生じる。

また同時に、各原子炉サイトでの貯蔵のオプションでは、増え続ける使用済燃料貯蔵のためのスペース拡充の必要性だけでなく、貯蔵の分散化に伴うセキュリティおよびセーフティのリスク増大の問題も無視できない。

一度建設された再処理施設は、施設維持・人的技術力維持への継続的な投資がない限

⁹ 例えば <http://sankei.jp.msn.com/world/news/140217/chn14021721390003-n1.htm>

¹⁰ 原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会参考資料 P46（6 月 19 日参考資料）

り、単に稼働を大幅に遅らせるということは極めて困難であり、大幅遅延の場合、初期投資された経費はほとんどが無駄となる。六ヶ所再処理施設を使わない場合、我が国として、上記の発生元(発電所サイト)への使用済燃料の返還問題とともに「政策変更コスト」として建設費等ロスはどう考えるのかという無視できない問題が残される。

一方、六ヶ所がほぼフル稼働再処理すると仮定する場合、上記のケースで最大約 24 キロトンの使用済燃料が処理でき、未再処理で残されるむつ市貯蔵施設以外での要貯蔵量は 18 キロトン程度となる(ただし、むつ市貯蔵施設の期限を考慮すると更に要貯蔵量は増加する。また既述の分離プルトニウム量増大問題の考え方整理は要)。

3. 核燃料サイクル継続に係る核不拡散の議論

1) 我が国の核燃料政策継続に対する懸念

我が国が非核兵器国として潜在的な長期エネルギー資源の利用オプションとして、プルトニウム利用を成功させることができるかは、平和利用と核不拡散の両立という、国際社会が過去数十年にわたって直面してきた根源的課題の将来を左右する大きなチャレンジであると言える。これまで国際社会は、我が国のプルトニウム利用を容認してきたと考えるが、その背景には、次の 6 つの点が有効に働いてきたものとする¹¹⁾。

- 1) 徹底した平和利用(国際社会への宣言)
- 2) 長期にわたる国際的な核不拡散レジーム遵守および良好な実践
- 3) 原子力プログラム・活動の透明性
- 4) 核燃料サイクルの明確な必要性
- 5) 国際核不拡散強化への貢献
- 6) 強固な日米同盟およびそこにおける『核の傘』の存在

今般、我が国は、2014 年 3 月に開催された核セキュリティサミット(オランダ・ハーグ)にて、核セキュリティリスク回避の観点から高速炉技術開発に使用されていた高フィッサイルのプルトニウム(日本原子力研究開発機構 FCA 施設)を米国に返還することを宣言したが、その際、中国は「兵器級の核物質保有の説明を要求、また核拡散防止の義務を守り、同物質をいち早く返還するとともに、国際原子力機関(IAEA)の要求に応じて国内の供給のアンバランスをどのように解決するのか、国際社会に対し説明すべきだ」とした⁹⁾。中国は IAEA 文書 INFCIRC/549(プルトニウム管理ガイドライン)を引用していると考えられるが、ここでは、1) 核不拡散と国際保障措置、2) 核物質防護、3) 計量管理、4) 国際移転、5) 情報の公表、そして 6) プルトニウム管理に関する政策についての指針が示されており、これらの中では、6) について、すなわち「可能な限り早期に需給をバランスさせること」の指針が問題視されていると考える。本文は下記のとおりである;「プルトニウム管理に関する政策—各国政府は、核燃料サイクルに関する国家決定に合致し、平和的使用又は安全かつ永久的処分を保証する方法でプルトニウム

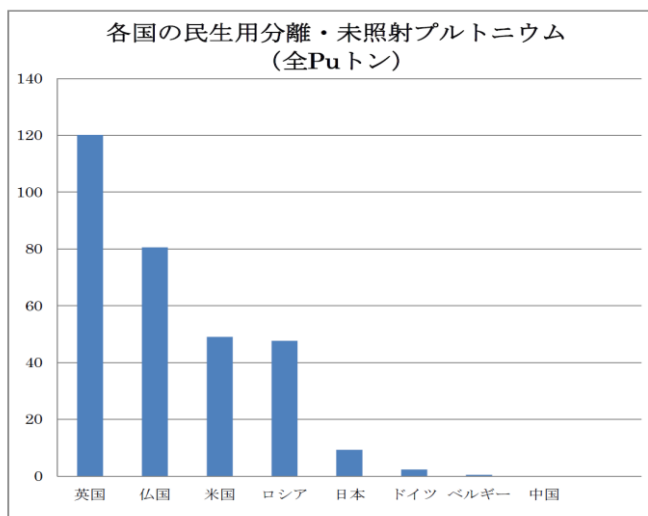
¹¹⁾ JAEA-Review 2010-040 ただし 6) は含まず。

を管理することをコミットする。その方策の策定に当たっては、核拡散、特にプルトニウムが燃料として照射される前あるいは永続的に処分される前の貯蔵期間中の核拡散の危険を回避する必要性、環境、作業員、公衆を保護する必要性、核物質の資源価値、費用・利益、所用予算、合理的作業在庫の需要を含み、可能な限り早期に受給をバランスさせることの重要性を考慮する」

本文書は合意文書ではなく指針であるとともに、我が国としては、これまでの確な保障措置下でプルトニウムが管理されるとともに、その利用状況や計画について透明性をもって国際社会に示してきたという経緯からすれば、中国が批判するような状況にはないことは明白である。しかし、プルトニウムバランスについての国際社会への説明の必要性については否定されるものではない。他方、閣議決定された新エネルギー基本計画においても、その核燃料サイクル政策（再処理、プルトニウム利用）が従来通り維持されたことに対して、米国のシンクタンクなどからも批判の声が上がっている¹²。上記、中国や一部のシンクタンクが国際社会全体の意見を代表するものではないかもしれないが、少なくとも、これまで我が国が示してきたプルトニウム利用政策の背景のうち、4) 「核燃料サイクルの必要性」に関する懸念が大きいことだけは明らかであろう。

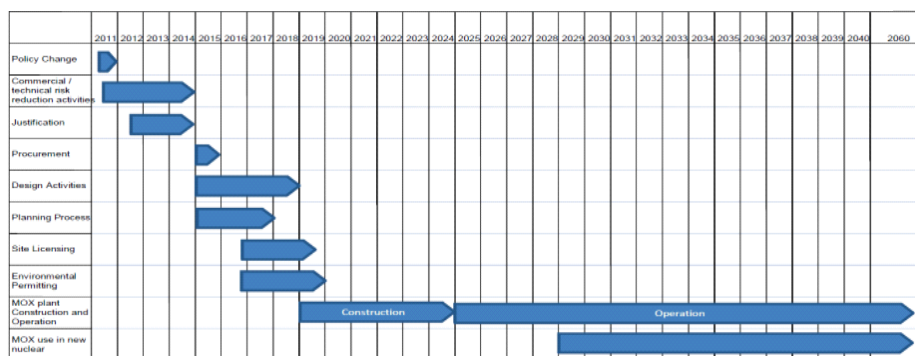
2) 「余剰」プルトニウムのインプリケーションおよび「利用」のタイムフレーム

我が国の場合、プルトニウムを軽水炉 MOX も含め使用していくという目的があるため、本来的に「利用目的のないプルトニウム」に該当しないのは明白であろう。問題は、タイムフレームを含めた利用計画が示されないことに起因して、諸外国が、そのようなプルトニウムを「余剰」と捉えるところにあると考えられる。この点については、核兵器国であっても民生用のプルトニウムの取扱いに対して



は、同じ視点で議論されるべきであろう。英国、米国他の兵器国の民生用プルトニウム蓄積状況を上図（上-INCIRC549 に

英国におけるプルトニウムマネージメントのタイムフレーム



¹² Center for Public Integrity: Japan reaffirms its plan to produce plutonium, <http://www.plutoniumblicintegrity.org/2014/04/11/14582/japan-reaffirms-its-plan-produce-plutonium>

基づき作成)に示す。いわゆる余剰の民生用プルトニウムの利用のタイムフレームについては、基本的に核兵器国、非核兵器国の違いはないはずであり¹³、米国の軍縮から発生した民生利用プルトニウムは2040年を目途に消費とされている。英国では、セラフィールド地区に、プルトニウムを大量に長期間保管できる倉庫が建設された。1つのオプションとしてここに国内にあるプルトニウムすべてを集め、安定的に保管しながら、時間をかけて処分法を考える、としている(前頁下図¹⁴)。仏国では、年間10tHMのプルトニウムを製造するとともに同量をMOXとして再利用することで均衡を達成しようとしている。ロシアでも、2014年12月にMOX燃料製造を開始し、これを高速炉BN-800で使用しようとしている¹⁵。これらの例で明らかのように、重要なことは仮にタイムフレームが長いものであっても、「蓄積」を回避できる「消費」の解決策を明確なスケジュールとともに示すことであると言える。よって、わが国のプルトニウムについても、再処理が稼働することによる短期的なプルトニウム貯蔵量の増加を問題と捉えるのではなく、ある程度長期的な観点(例えば20-30年)に立った、プルトニウム利用(削減)方向を示すことが、国際社会の懸念を下げるために有効であると考えられる。むしろ、今回の問題は、アジア地域において、一時的であれ日本のプルトニウム蓄積がもたらす核不拡散上の観念的な懸念の増大であり、これにより、地域の緊張を高める可能性もあることに問題があるかもしれない。この点、国外に保管されているプルトニウムについては、その量の大きさ(35トン)から、今後さらに返還されればそれに係る観念的なインパクトは小さくない。2014年のオランダ核セキュリティ・サミットにおいても、高濃縮ウラン及び分離プルトニウムの最小化について各国が強調する状況下にある。こうした中、日本が保有するプルトニウムについてタイムフレームとともに消費プランを明示することは、近隣諸国の観念的な懸念を払拭するための説明としての意味合いだけでなく、核セキュリティ強化を推進する国家としての責任を全うする上でも極めて重要であると言える。

3) 日米原子力協定への影響

1978年の核不拡散法(NNPA)に基づき二国間原子力協力協定に規定された、相手国の再処理や形状・内容の変更(MOX燃料の製造等)に関する同意権が、他の国のプルトニウム利用に関する米国の事実上の拒否権を担保するものとなった。こうした他の国のプルトニウム利用を厳しく制限する米国の政策はカーター政権以降、現在に至るまで続いているが、レーガン政権以降の政権は、政権によるニュアンスの違いはあるものの、西欧諸国と日本のプルトニウム利用については、例外的に認める立場をとっている。カーター政権当時行われた、旧日米原子力協力協定下での日米再処理交渉によって東海再処理施設の運転が認められたが、処理量、期間に制約を課すものであったことから、将来の見通しが不安定な状況での運転を余儀なくされることとなった。こうした状況は、1988年の新たな日米原子力協力協定の締結により、両国が合意する一定の枠内での再処理等

¹³ <http://isis-online.org/isis-reports/detail/civil-separated-plutonium-in-the-infirc-549-states-taking-stock/>

¹⁴ 仏国・英国のプルトニウム管理、原子力委員会

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryo2012/siryo56/siryo1.pdf>

¹⁵ P.M.Gavrilov, presented at ATOMEXPO2014 Moscow, June 2014

のプルトニウム利用に米国が協定締結時点で同意を与える包括的事前同意方式が取り入れられることによって解消された。新協定の締結は、日本の原子力プログラム、特に核燃料サイクル計画が安定的に進められる法的基盤を確立した点において意義が大きい。米国が日本に対してプルトニウム利用を認めた最大の理由は、同盟国である日本の核拡散リスクは極めて少ないとする安全保障の観点からの見方があるものと考えられるが、前提として、エネルギー資源が少ない日本による、原子力の潜在的可能性を最大限に活用する核燃料サイクルの確立を目指す政策への理解があったと考えられる。

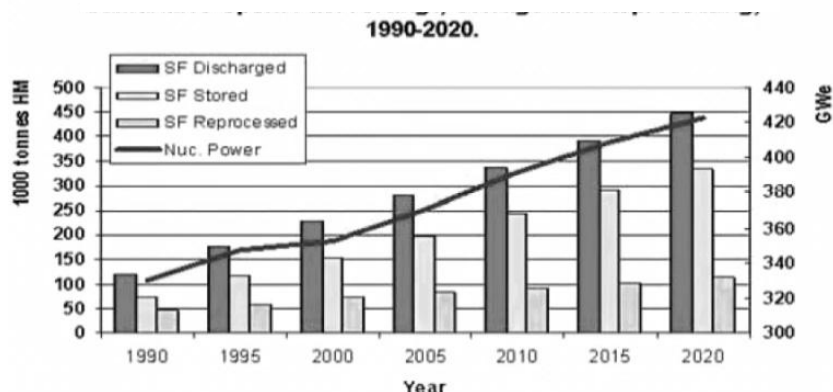
前民主党政権の政策変更により、原子力発電稼働ゼロを目指すとしたことは、この前提が大きく変わることを意味し、2018年に日米原子力協力協定が30年という当初の期限を迎えるに際し、場合によっては、包括的事前同意の継続的確保を危ぶまれることにつながるものである。米国では、議会の一部の議員による扇動などにより、日本の再処理への同意を法的に撤回する措置を要求する可能性がある。例えば、T. Mooreによる最近の論文では、日本の協定の自動延長条項も問題視している。こういう主張が議会で強まっていけば、政府に対する協定改定圧力を高める方向に働く可能性も否定できない¹⁶。また、事実上使用済燃料の再処理を認めていない米韓原子力協定の交渉（2年延長）で、米国のダブルスタンダード（米韓協定と日米協定の違い）についての韓国側の批判に米国が抗しきれなくなる結果、我が国に認めていた包括的事前同意の撤回を求める可能性がある。その理由に余剰プルトニウムの蓄積という材料が使われる可能性も考えられる。

今回の自民党政権において閣議決定された核燃料サイクル維持は、ひとまずこの問題を回避させたように思われるが、上述のように、原子力依存を可能な限り低減するという方向性と、一時的にせよ分離プルトニウムの増加の可能性が見込まれる場合の二国間管理協定継続議論への影響は必ずしも無視できるものではない。先人の努力によってなし得た「再処理の包括的事前同意」の重みについて再確認する必要があると考える。

4) 直接処分および燃料サイクル

世界の使用済燃料の蓄積

右図に示すように、今後、世界の使用済燃料は確実に増加していく。2010年の世界の年間使用済燃料発生量は、約10,500tHMで、そのうち約1割は日本で発生する¹⁷。2010年時点での世界の使用済燃料累積発生量



¹⁶ <http://guests.armscontrolwonk.com/archive/4240/the-us-taiwan-123-agreement-an-asian-nuclear-pivot-away-from-congress#more-4141>

¹⁷ 「使用済燃料管理問題と中間貯蔵の重要性-世界の動向-」、(財)電力中央研究所、2012年1月23日、原子力委員会技術等検討小委員会（第8回）資料第3-1号

は約 334,500tHM で、約 100,000tHM (約 30%)が再処理され、残りの 234,500tHM(約 70%)が原子炉サイト内・外に湿式・乾式貯蔵されている。2020 年には、累積 SF 発生量が約 450,000tHM に達し、うち約 25%が再処理、残りの約 75%が貯蔵されると見込まれている¹⁸。

使用済燃料を直接処分した場合のプルトニウム等による毒性は、特に長期的視点から無視できるものではない(上

図)。一方、直接処分と核燃料サイクルを用いた場合のプルトニウムについて、核不拡散性を比較すれば次のように考えることができる。再処理の核拡散リスクは、プルトニウムが MOX であれ分離プルトニウムであるため一般に高いとされる。しかし、回収したプルトニウムを燃焼により消費していけば、廃棄すべき全残存プルトニウム量は直接処分に比べ大幅に小さい。すなわち、原子力利用終焉時における最終的に残存するプルトニウムの質(フィッサイルプルトニウムの割合)も低下するため、長期的にみれば全体として核拡散抵抗性を高めることに繋がる。

直接処分の核拡散リスクは、高放射性の核分裂生成物と共に存在するため、一般に低いとされる。しかし、核分裂生成物はその大部分が短半減期の理由で消失し、最終的には低放射性のプルトニウムが(ウランと共に)残存する。一方、プルトニウムの質(フィッサイル率)は、核プルトニウム核種の半減期の違いにより徐々に高まる。結果的に、使用済燃料の直接処分における核拡散懸念は時間とともに増大する。以上まとめれば、

- 再処理等燃料サイクルにおける核拡散リスク
 1. 分離プルトニウム(但し MOX)の存在により短期的観点では高い
 2. 長期的観点では核拡散リスクは軽減される(最終的な使用済燃料に残存するプルトニウム総量およびフィッサイル量の低下)
- 使用済燃料直接処分の核拡散リスク
 3. 短期的観点で低い(高い放射能のため接近やプルトニウム回収が困難)
 4. 長期的観点では高くなる(処分廃棄物中のプルトニウム総量の増大、プルトニウム中のフィッサイル率が経時的に増加)

ここで、上記 1. についてであるが、国際社会は、プルトニウム分離による短期的な拡散リスクは保障措置などで十分に回避できることを、我が国の過去 50 年にわたる経験を通し確認してきた。一方、4. についても、人類が制度により克服できるということは否定しないものの、10-100 万年という長期にわたる核拡散の防止が制度で十分確保できる

使用済み燃料の毒性

Long term radio-toxicity of standard PWR spent fuel vs cooling time

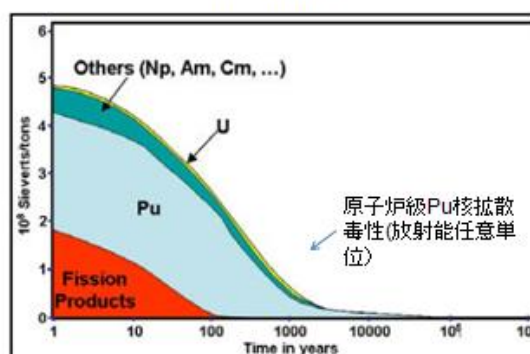


Figure 4. Potential radiotoxicity vs. cooling time.

Spent Fuel Reprocessing Options, IAEA-TECDOC-1587, August 2008

出典： IAEA Nuclear Energy Series, No. NF-T03.5, 43 頁

12

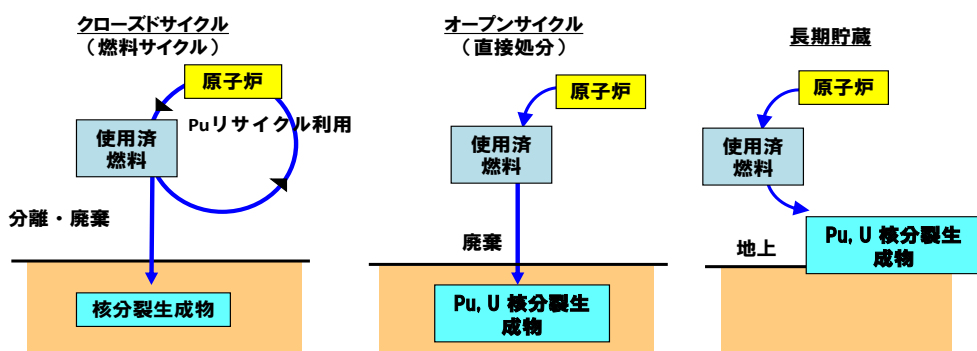
¹⁸ <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/hatukaku/siryo/siryo8/siryo3-1.pdf>

という保証は困難であろう。IAEA では現在、国レベルの保障措置概念（State Level Concept）の開発を進めているが、使用済燃料の処理・処分の保障措置を検討する場合には、その国が選択する処理・処分オプションを含めて、国全体のアプローチを開発し、その一部として、処分場の保障措置アプローチを含める予定である。ある国が、当面、再処理、乾式貯蔵、直接処分等のオプションを採ると仮定した場合、それぞれのケースで、いかにして核不拡散を確保するかといった議論も必要になる。いずれにしても、プルトニウムが存在する以上、それが自然消失するまで長期（数十万～百万年）にわたり何らかの形で監視やモニタリング等管理を続けなければならないことが推定される。この観点からすれば、使用済燃料の処分に先立ち技術的な核不拡散対策を採ることは1つの重要な対策と言える。

4. プルトニウム取扱いの方向性

以上の論点を纏めれば、将来のエネルギーセキュリティの観点から、高速炉、そして、そのためのプルトニウム回収および使用済燃料処分における3S 向上策としての再処理のオプションを保持すること、将来を見据えて国産エネルギー資源といえるプルトニウムを確保していくことは、我が国の国情を考えた場合、国策として必然性の高い方向性である。また我が国が抱える社会的問題の解消として、使用済燃料蓄積軽減のため六ヶ所再処理施設を稼働させさせることは必要性が認められる方向でもあり、長期的な方向性であるエネルギーセキュリティ上のニーズに合致するものと言える。しかし現状で、核燃料サイクル-再処理を継続すれば、一時的にせよ分離プルトニウム保有量が増大していく可能性が小さくなく、核不拡散の観点で、国内外から、またアジア地域的に不要な懸念や緊張を招くことも予想される。そのため、分離プルトニウムの増加を抑える方策を考えるとともに、英米と同様、長期の時間軸にたったプルトニウム利用計画を国際社会に示していくことが不可欠である。

現在、議論の中心となっているバックエンドオプション 特徴/留意点



- 国際約束に基づき、Puマネージが重要
- 短期的な核拡散リスクが高い
- 約15 - 20% の U-235 がセーブ可 (MOXのLWRリサイクル利用で)
- 地層処分の容易化 (HLW処分の減容1/4)
- 熱発生減、ガラスとしての安定性など
- MOXリサイクル利用により、貯蔵スペースの軽減(1/8 - 1/7)
- 埋設廃棄物は保障措置からの解放
- 長半減期核種の除去可能性
- 技術維持(知的技術レベルの継続性)
- 燃料サイクル受入自治体との約束
- 短期的な核拡散リスクは低いが、長期にわたる不拡散(保障措置)、セキュリティ対策が要、処分開始時点からPu鈹山問題は始まる。
- 貯蔵に要する体積が大
- リサイクル以上に長期的な安全評価が要
- 受入自治体の受入可能性がより困難
- アクチノイド、長半減期核種の残存
- 当面貯蔵という考え方は、妥当。但し、長期貯蔵は、暫定的な対策にすぎない(将来世代へのつけ)
- 長期にわたる不拡散(保障措置)、セキュリティが要
- 解決策への新技術・政策に関し時間裕度を与える
- 国際的な取り組みとして最も可能性大

以上の論点を基に、今後、我が国として考慮すべき核燃料サイクル・プルトニウム取扱の方向性について以下に議論を展開する。前頁下図は、長期貯蔵も含め、最近議論されている3つのオプションについて特徴をまとめたものである。

上述の観点に立てば、この図に示した現在議論の主流のバックエンドに係る3つのオプションの表記に加え、さらに2つのオプションを併記すべきと考えられる。上図のクローズドサイクルオプションにおける廃棄物は、一般的に「核分裂生成物の廃棄物（ガラス固化体）」とされるが、実際には、高速増殖炉に至るまでの、当面の1つの重要なオプションである回収したプルトニウム(MOX)の燃焼とそれにより発生する使用済燃料を最終廃棄物とする形態も重要なオプション表記であるはずである。ここで MOX 燃焼は、必ずしも軽水炉(LWR)燃焼である必要はない。燃焼による発電利用とともにプルトニウムの量と質を低下するという中長期的な観点での核不拡散を達成できる効率的な技術であればよい。

さらに、もう1つのオプションが MOX の国際管理である。我が国だけでなく人類のエネルギーセキュリティ上重要な資源について、単一国家においては、核拡散懸念を生む源となる「蓄積」であるが、多国間で管理するとした場合は、資源の「貯蔵」という認識に変わることが期待できる。

以下、これらプルトニウムの取扱オプションについて詳細に議論する。

1) 軽水炉 MOX 燃焼によるプルトニウム増減のケーススタディ

これまでの文脈から、六ヶ所再処理を稼働させ、長期的な観点で使用済燃料を処理していく政策をとる場合、再稼働する軽水炉による MOX の利用状況次第で回収量を調整する、すなわち分離プルトニウムの増加は極力少なくするという方向性を採ることが考えられる。

既述のように、現在、すでに国内 9.3 トン（日本原燃、4つの軽水炉、日本原子力機構に存在）、国外には 35 トン（英仏）のプルトニウムを保有する〔合計約 44 トン〕。

軽水炉 MOX については、福島第1発電所事故前では、16-18 基で 8-10 トン/年のプルトニウム燃焼とされていた。短時間での多原子炉での MOX 利用開始の可能性は高くないものの、ここでは、14 基程度（および大間炉）のプルサーマル炉が稼働することを想定しケーススタディを行う（8-9 トン/年、以下 8.5 トン/年と仮定¹⁹）。

本ケースで、六ヶ所再処理施設をフル稼働した場合のプルトニウム回収を 6.5 トン/年と仮定すれば、プルサーマル炉が全て同時に稼働した場合の単純収支計算で約 22 年で国内外すべての分離プルトニウムがゼロになる。国内のプルトニウムを優先的に利用するオプション（海外返還を考慮に入れないオプション）では、4-5 年で国内の分離プルト

¹⁹ 泊、女川、東京電力の原子力発電所、浜岡、高浜、大飯、島根、伊方、玄海、東海、大間等での MOX 装荷を想定

ニウムがゼロになる(ただし、ここでは JMOX 燃料加工施設の稼働までの時間的ギャップ、六ヶ所再処理工場の立上げ時の低稼働率などは考慮されていない)。

一方、軽水炉 MOX 利用が 10 年おくれ、さらに MOX 利用炉が予想の半分強程度とした場合(消費プルトニウムが 5 トン/年)六ヶ所再処理施設をフル稼働した場合(6.5 トン増/年)を仮定すれば、増加傾向は、初期の 10 年(国外プルトニウムの利用を想定)で約 109 トンのプルトニウムが溜まることになり、その後の 10 年でも 124 トンへの増加となる

上記で、六ヶ所再処理の稼働率を、例えば 30%程度(約 2 トン/年)と仮定すれば、最初の 10 年で約 65 トンの蓄積、その後の約 22 年で、国内の分離プルトニウムがゼロになる計算となる。本ケースについて、国内のプルトニウムを優先的に利用するオプションでは(海外返還考慮なし)、初期の 10 年で 29.3 トンの蓄積となるが、次の 10 年で国内の分離プルトニウムがゼロになることになる。(第 2 再処理については、本検討では再処理の継続として扱う)

以上、単純な仮定の下でのケーススタディを示したが、現実には、軽水炉 MOX 運転が当初の期待通り運転されないことを想定しておくことも必要であり、その場合でも、再処理の稼働率を下げるという運転を状況に応じ併用することが、核拡散上の不必要な懸念を払拭するうえで重要であろう。

なお上記のケーススタディに示す国外のプルトニウムの扱いであるが、我が国が保有するプルトニウムの約 80%は欧州にあり、欧州ではプルトニウムの MOX 利用が進んでいる。プルトニウムがエネルギーセキュリティ上の資産であることは既に議論したとおりであるが、その輸送コストの高さや、今後国内再処理でプルトニウムが十分回収できることを鑑みれば、欧州との協力による解決(たとえば売却)の可能性も有力なオプションとして今後の視野に含めることも必要ではないかと考える。

2) プルトニウム(MOX)の燃焼および最終廃棄物としての使用済燃料処分 3S 向上策

以上は、軽水炉 MOX によるプルトニウム消費のみにより問題を解決する場合であったが、プルトニウムの軽水炉 MOX 利用は、必ずしもベストの解決法ではない。また、これまでのような短期な軽水炉 MOX 利用の提示だけでは不確定要素が高く、上記ケーススタディにて示す通り、20-30 年といった長期の時間軸での解決策を示すこととともに、その他のプルトニウム消費や管理オプションを併行して検討していくことが重要であろう。

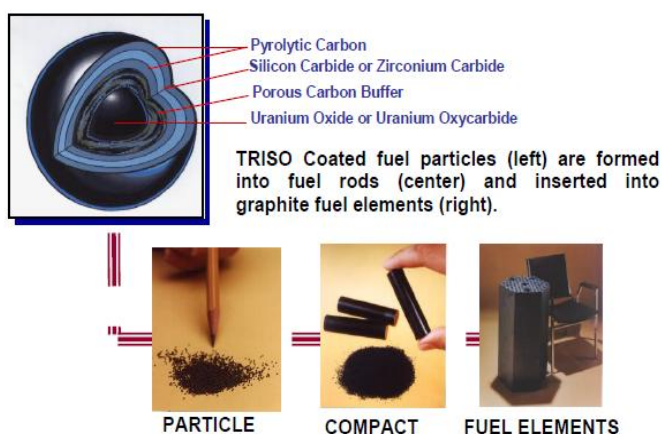
基本的には、軽水炉 MOX によるプルトニウム利用に限らずどのようなサイクルを採った場合でも最終的に使用済燃料を生ずるわけである。よって、処分における 3S の向上、具体的には毒性の低減、核物質フィッサイル量の低減が重要となる。すなわち、核物質の量(MAを含む)の低減、プルトニウムにおけるフィッサイルの割合の低減(抵抗性の高い状態の実現)が、使用済燃料処分での 3S 向上に貢献するという考え方である。

燃焼後に残るフィッサイルを何処まで低下させれば、核不拡散上十分なのかという議論があるが、プルトニウム-238 がプルトニウム全体の 80%を超える場合を除き未だ結論はなく、使用済燃料処分に代表されるプルトニウム廃棄における品質の影響（フィッサイルの違いによる核拡散抵抗性の違い、すなわちプルトニウムの同位体差に基づくグレード分類化）について、今後国際的な議論を進める努力が必要である。こうした議論や関連する研究開発を通じ、処分に於けるプルトニウムへの将来的な 3S の扱いについて国際社会の理解を求めることが重要である。

プルトニウムの燃焼としては、Pu-TRISO燃料による高温ガス炉、高速中性子Pu専焼炉や加速器駆動未臨界炉、軽水炉によるプルトニウム岩石燃料燃焼、等の研究が行われている。下記にその特徴を示す。これらは共通して、未だ技術が開発段階であり、これらプルトニウム専焼技術を軽水炉MOXと併用すべき技術と位置付けるには時期尚早であるが、近未来のプルトニウム消費ニーズに応え、かつ核不拡散性の高いオプションとして技術開発に取り組んでいく意志を国際社会に示すことが、プルトニウムに係る海外からの懸念の払拭へ貢献するものと考えられる。以下、当面、そして将来にも係るプルトニウム問題への対処策として考えられるオプションをいくつか示す。

2)-1 その他の消費オプション1-高温ガス炉によるディープバーン

一般に高温ガス炉においてセラミックス被覆粒子燃料を使用すれば、耐熱性と核分裂生成物の保持能力が高いこと、黒鉛は耐熱性が高く熱容量が大きいこと、ヘリウムガスは化学的に不活性であり燃料や構造材と化学反応を起こさないことなどから安全性にも優れた炉であるとされている。いわゆるワンスルーで多量の超ウラン元素を燃焼するという特徴は、逆にリサイクル（再処理）に適さないとも言えるが、上述のようなニーズの変化、すなわち、高燃焼によりプルトニウムの質の低下など核拡散抵抗性を高めることの可能な技術と考えられるようになった。軽水炉で生成したプルトニウム内包し強力な3重構造をもつ球状セラミック燃料（TRISO、右図参照）を用いることで「Deep Burn」が可能となり、回収プルトニウムを高燃焼にて消費した残留プルトニウムの同位体を低フィッサイルにすることができる。たとえば、初期装荷プルトニウムが、プルトニウム239で 50%以上のものを90-120 GWD/MT燃焼させた場合、生成（残存）するプルトニウム239は 10%以下となるとされている²⁰。このように低品質のプ



C. Rodriguez, et al.: Nuclear Engineering and Design 222 (2003)

²⁰ J. Ahn, Univ of California, Berkeley : Prospects for the fuel cycle issues in Japan, presented at The 2013 “JAEA International Forum on Peaceful Use of Nuclear Energy, Nuclear Non-Proliferation and Nuclear Security” December 3-4, 2013, Jiji Press Hall

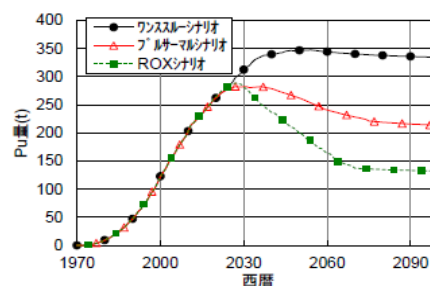
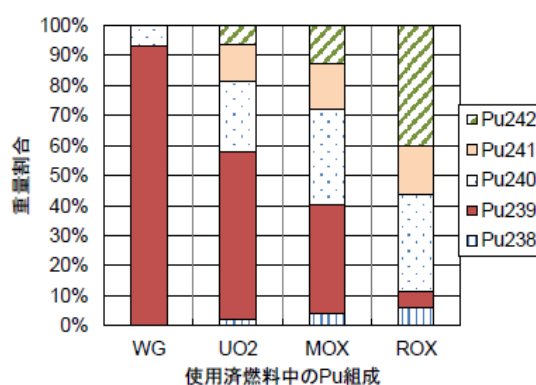
トニウムが残存すること、再処理に適さない性状、すなわち炭素材で覆われており、燃料の高密度さなどからも地層処分における耐久性とともに核拡散抵抗性が高い使用済燃料と考えられる。

2)-2 その他の消費オプション 2-高速炉による専焼

高温ガス炉はその熱中性子の高断面積の特性から迅速な高燃焼が可能であるが、望ましくない中性子捕獲反応により燃焼が不十分となる。これに比べ高速炉によるプルトニウム（やマイナーアクチニド）の専焼では高速中性子の小さい断面積からゆっくりとした燃焼となり燃焼の完全性に貢献できる。さらに高温ガス炉と高速炉という 2 つの燃焼を組み合わせることによりプルトニウムのより効果的な専焼（Deep-Burn）が可能となる²⁰。プルトニウムのみからなる炉心燃料の高温ガス炉と高速炉の協力利用が期待される。

2)-3 加速器駆動型炉によるプルトニウムの専焼

プルトニウムを含む長寿命アクチニド元素の処理による処分場の環境負荷低減等を目的とした加速器駆動核変換システム（ADS）は、加速器を止めれば連鎖反応が停止する未臨界炉として安全性が高いとされている。方向性としては、上述の高速炉と同様であるが、例えば、MOX 燃料の軽水炉での燃焼から生じたプルトニウムを ADS と併用によりさらに高次化を進めるものである。高速炉の進展には時間を要するため、高速炉の確立までの間、ADS と高温ガス炉を連携させ専焼に貢献させるという考え方も示されている²¹。



シナリオ別の残存プルトニウム量

2)-4 その他の消費オプション 3-軽水炉によりプルトニウム岩石燃料燃焼

燃料関係の研究開発では、蓄積する分離プルトニウムを既存の軽水炉で効率的に燃焼させることが出来る不活性母材燃料の研究が進められており、この一種である岩石型プルトニウム燃料は、我が国においても研究が進められている。材料にイットリア安定化ジルコニアを用いた岩石と同様の結晶構造の「岩石型プルトニウム酸化物（ROX : Rock-like Oxide）燃料」が提案されており、その頑強な燃料特性から、軽水炉をもちいたプルトニウム高燃焼が可能とされている²²。上図はROXを高燃焼させた一例であるが、燃焼後の全プルトニウムにおけるフ

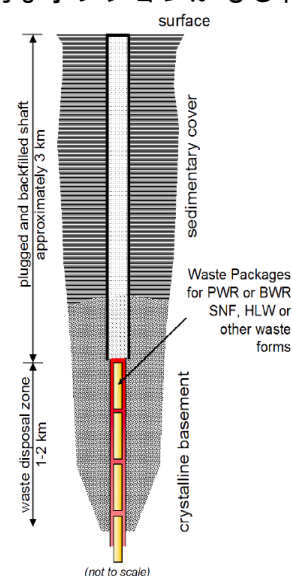
²¹ http://www.iaea.or.jp/htgr/pdf/02_result/infomation/02result_20130903_03.pdf

²² 岩村、直接処分に適した燃料の開発を進めよう、日本原子力学会誌、Vol. 55, No. 1 (2013), 西原他、岩石型燃料を用いた軽水炉の研究 Q03, Q04、日本原子力学会「2012 年秋の大会」

ィッサイル率は非常に小さなものとなっている他、プルトニウムの燃焼による減量化に貢献するとしている。

3) プルトニウムの国際管理

国際的にプルトニウムを貯蔵する議論として、国際プルトニウム貯蔵 (IPS : International Plutonium Storage) があげられるが、これは、かつて INFCE (1977-80 年)²³を受けて、IAEA 憲章の規定に基づき、再処理により抽出されたプルトニウムのうち余剰なプルトニウムを IAEA に預託し、国際的な管理の下で貯蔵することにより、プルトニウムが軍事目的に転用されることを防ごうとする構想であり、1978 年 12 月より IAEA の専門家会合が開始された。再処理により抽出されたプルトニウムの有効利用を図ることとしている。加盟国は自国内または他国に設置される「国際プルトニウム貯蔵庫」に当該プルトニウムを預託する、用途がはっきりし必要が生じたときにはそのプルトニウムを引き出して使う、引き出す際には国際 IPS 委員会の承認を得るといったような内容である²⁴。日本としても、プルトニウム管理に関する何らかの国際的コンセンサスができることは極めて有意義であると考え積極的に取り組んだが、最終的には、IAEA 理事会の場で今後の取り組み方について検討がなされたものの調整がつかず検討は中断された²⁵。この考え方について、当時との状況の違いについて、分離回収または解体核兵器からのプルトニウムの取り扱いが、より切迫したプルトニウム利用が近未来とされていたこと、使用済燃料直接処分によるプルトニウム埋設問題（長期的核拡散問題）を真剣に考える必要に迫られていることが挙げられる。このような状況の変化に際し、この国際貯蔵の考え方が再浮上しても当然といえるのではないかと考える。この場合、例えば小規模な国際管理として「日米(韓)および IAEA」による MOX 貯蔵方式などがより現実的なオプションかもしれない。実際に長期 MOX 保管が現実に英国で検討される中、我が国を中心として本オプションが実現できれば、高速増殖炉のようなプルトニウム利用における本来目的の技術についても国際協力での時間的裕度をもって技術開発を進めることも可能となる。なお、技術的には、将来の利用のフレキシビリティ（将来加工の容易性やアメリシウム除去への対処など考慮し）および核拡散抵抗性の観点から、ペレットではなく MOX 粉末やその他のバルク的な化学形状での貯蔵が望ましい。貯蔵場としては、日本国内での MOX 国際貯蔵場、または、核兵器国での MOX 国際貯蔵場が考えられる。



Deep Borehole 概念

4) プルトニウムのガラス固化等による処分

かつて、米ソ核軍縮議論において、米国が提唱したものであり、米国を中心とした西側核兵器国においてプルトニウムのガラス固化・セラミック化（FP 混合）の検討がなされた。

²³ <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/wp1980/sb2040301.htm>

²⁴ <http://www.gepr.org/ja/contents/20130826-02/>

²⁵ <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/wp1989/sb2090201.htm>

当オプションは、余剰プルトニウムを、核拡散抵抗性の高い安全な形で保管、又は処分するものであるが、この場合は、プルトニウムを如何に人間にリスクの無い形で措置するかが重要な課題となる。核不拡散要求に応え得るとされるプルトニウム保管・処分の方策としては、Deep Borehole の適用がある(前頁図参照²⁶)。分離プルトニウムをガラス等固化法により不動態化し、SUS のキャニスターに充填し、高レベル廃棄物と混ぜた後、深層(数 km)に処分するものである。埋設物の体積が少ないことから埋設孔の直径が小さくて済み(1m 程度)、転用を企てる人間にとってアクセスが困難となるものの、SF に比べ軍事利用的な魅力度が高いため、核拡散のリスクはゼロではなく、優先度的には低い手段として考えられるべきものであろう。保障措置的にも大きな問題となる。また安全等課題も多いが、米国、英国等、諸外国の動きを注視する必要がある。

本法は、回収可能性は低く、核不拡散性は高いとされている。しかしながら、臨界事故防止のため、1 廃棄体には数 kg 程度のプルトニウム装荷が上限であり、またセキュリティのために高レベル廃棄物と混合しなければならず、その調整操作など成立性について更なる研究が必要である。地中における臨界安全性や放射能安全面で不確実性がある²⁷。また深層処分(Deep Borehole) が不拡散対策になるかについても議論がある。すなわち、近年の技術では深層まで穴を掘削するのは容易とされている点である。国家が核を拡散する場合には、その回収可能性が技術的に容易であるのであれば核拡散抵抗性は高くないということになるからである。いずれにしても軽水炉燃料使用済燃料の直接処分と同様、プルトニウム自体の抵抗性が高くなければ、魅力度は高く、将来にわたって核拡散の懸念を残すオプションであるかもしれない。

5. まとめ

以上の議論についてまとめれば以下のとおりである。

- 長期エネルギーセキュリティの観点から、燃料サイクルオプションを継続することの意義は大きい。すなわち、将来の高速増殖炉等によるプルトニウム平和利用のオプションの継続は重要であり、国内資源とも言える U238 の活用で得られるプルトニウムを千年のオーダーでエネルギーとして利用できる技術を、数十年から百年程度の見通しで放棄するのは賢明とは言えない。わが国として、長期的観点からの高速増殖炉プルトニウムリサイクル路線の堅持についての方向性を国際社会に対し改めて表明することが重要。
- しかし、かつて描いていた近未来のプルトニウム高速増殖炉利用は、現時点では現実性にとぼしい。一方で完成に近づく核燃料サイクル-再処理については、これまでの経済的投資の回収や、事故やテロ等のリスクを考慮しつつ、中長期的な視野から、総合的に我が国として国益に資する方向性を考えることが重要である。このような観点から、プルトニウム利用政策の連続性確保のために、当面は軽水炉 MOX 利用(燃料サイク

²⁶ <http://energy.sandia.gov/wp/wp-content/gallery/uploads/SAND2011-6014C.pdf>

²⁷ <http://www.jaea.go.jp/04/np/activity/2013-12-03/2013-12-03-08.pdf>

ルを含む)を中心としたプルトニウム利用・消費という方向を継続的に追及していくべきと考える。

- わが国がこれまで進めてきた、唯一の被爆国として、厳に平和利用に限った原子力利用の姿として、NPT加盟はもとより、世界最高レベルの保障措置の受入や包括的核実験禁止条約(CTBT)の批准をはじめとする核不拡散政策は、国際社会の模範となる高いレベルのものである。さらに核セキュリティ政策についても、近年の核テロ防止条約や改正核物質防護条約への対応強化に加えて、核セキュリティ・サミットにおける総理ステートメントや国別報告書として発表されている核セキュリティへの取り組みなど、世界的に見ても高い水準にあると評価できる。現在、顕在化しつつある保有プルトニウムの増大問題は、わが国における兵器転用リスクという面での問題ではなく、むしろプルトニウム利用計画が具体的に明確に示せない状況下での今後の再処理施設稼働による保有量増加の可能性が国際社会、特に近隣諸国へ不必要な懸念もたらすところにあると考える。
- わが国では、再処理による便益は、将来の資源確保という意味合いのみならず、使用済燃料の処分における3Sの向上という点でも大きい。よって再処理の稼働と回収プルトニウムが引き起こす近隣諸国への懸念払拭のために、プルトニウム取扱いに係る状況について更なる透明性を向上させるとともに、国際社会が許容する時間軸(例えば20-30年)を含めた現実的なプルトニウム取扱い計画を示すことが不可欠と考える。
- これには、軽水炉MOX利用について近未来の稼働率の最大・最少オプション、再処理施設の供用期間や稼働率を踏まえた最大分離プルトニウム量の考え方の透明化、また、種々のプルトニウム専焼技術を併用した場合の可能性や取組みの提示、使用済燃料の中間貯蔵キャパシティ増加やプルトニウム(MOX)の国際貯蔵を考慮したケースなどについても可能性を追求したオプションを提示すべきと考える。

以上の議論に登場してきたオプションとそこにおけるプルトニウム収支の考え方についてより具体的に示せば別添表のようになる。

以上、国際保障学研究会では、わが国における燃料サイクル-プルトニウムの取扱いについて、核不拡散という側面を中心に、今後示すべき方向性について議論を行った。今回の検討が、必ずしもすべてのオプションを網羅しているわけではなく、また、議論が未完結な点多々あると考える。今後さらに議論を深め、かつより定量的な説明が可能となるよう取り組んでいきたい。

なお、本来であれば、本プルトニウム取扱いの議論において、ネプツニウムやアメリカウムなどマイナーアクチニド(MA)についても同様に検討すべきところであるが、本検討では、高速増殖炉利用の前段階としての当面のプルトニウムの取り扱いに焦点を当てたためMAへの言及はほとんど行わなかった。今後はMAも含めたさらなる長期的な議論を展開することが望まれる。

別添) 表 核燃料サイクル-プルトニウム取扱にかかる長期的取扱いオプション例検討

	現在		2015-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070	2071-2080	2081-2090	2091-2100
軽水炉 SF発生	17.7Kt再処理待(再処理なし)		<約5Kt発生 (22.3Kt)	<約10Kt発生 (32.3Kt)	<約10Kt発生 (42.3Kt)	<約10Kt発生 (52.3Kt)	<約10Kt発生 (62.3Kt)	<約10Kt発生 (72.3Kt)	<約10Kt発生 (82.3Kt)	<約10Kt発生 (92.3Kt)	<約10Kt発生 (102.3Kt)
中間貯蔵を差し引いたSF量	再処理無	5Kt貯蔵	(17.3Kt)	(27.3Kt)	(37.3Kt)	(47.3Kt)	(57.3Kt)	(67.3Kt)	(82.3Kt)	(92.3Kt)	(102.3Kt)
	再処理有上:フル下:30%		(13.3Kt) (16.1Kt)	(15.3Kt) (23.7Kt)	(17.3Kt) (31.3Kt)	(19.3Kt) (38.9Kt)	(21.3Kt) (46.5Kt)	(23.3Kt) (54.1Kt)	(25.3Kt) (61.7Kt)	(27.3Kt) (69.3Kt)	(29.3Kt) (76.9Kt)
国外分離Pu (MOX) の引取	内9.3tPu 外35tPu	返還	44.3t								
		無返還	9.3t								
RRP再処理 (JMOX)	— [後年第2再処理が継続]	2020までJMOX遅延仮定	フル稼働 <32.5t	<65t	<65t	<65t	<65t	<65t	<65t	<65t	<65t
			30%稼働 <10t	20t	20t	20t	20t	20t	20t	20t	20t
軽水炉 MOX利用最大	上:全サーマル炉(大間倉)稼働下:50%強		<40t	<85t	<85t	<85t	<85t	<85t	<85t	<85t	<85t
			15t	25t	50t	50t	50t	50t	50t	50t	50t
Pu収支残存Pu	フル再処理/国外Pu返還ケース	①軽水炉MOXフル稼働	36.8t	16.8t	-3.2t	Pu不足					→
		②軽水炉MOX 50%強稼働	61.8t	101.8t	116.8t	131.8t	146.8t	161.8t	176.8t	191.8t	206.8t
	フル再処理/国外Pu無返還ケース	③軽水炉MOXフル稼働	1.8t	-18.2t	Pu不足						→
		④軽水炉MOX 50%強稼働	26.8t	66.8t	81.8t	96.8t	111.8t	126.8t	141.8t	156.8t	171.8t
	30%再処理/国外Pu返還ケース	⑤軽水炉MOXフル稼働	14.3t	-50.7t	Pu不足						→
		⑥軽水炉MOX 50%強稼働	39.3t	34t	4.3t	-25.7t	Pu不足				→
	30%再処理/国外Pu無返還ケース	⑦軽水炉MOXフル稼働	-20t	Pu不足							→
		⑧軽水炉MOX 50%強稼働	4.3t	-0.7t	Pu不足						→
高温ガス炉	Pu専焼	②④と併用		実証炉設計	建設	稼働例5t Pu	稼働例5t Pu	稼働例5t Pu	稼働例5t Pu		
高速炉	Pu専焼	②④と併用		Pu専焼例5tPu	Pu専焼例5tPu	もんじゅに代わる実験例0.5tPu	もんじゅに代わる実験例0.5tPu	もんじゅに代わる実験例0.5tPu	もんじゅに代わる実験例0.5tPu	(設計Pu増殖)	(建設)
ADS	Pu専焼	②④と併用		実証施設設計	建設	Pu専燃	Pu専燃	Pu専燃			
軽水炉 岩石燃料	Pu専焼	②④と併用		設計	稼働例5t Pu	稼働例10t Pu	稼働例10t Pu	稼働例10t Pu	稼働例10t Pu	稼働例10t Pu	稼働例10t Pu
国際管理MOX		②④と併用									Pu増殖炉利用まで

国際保障学研究会メンバー(2014年7月現在)

副主査 (主査代行)	久野 祐輔	東京大学大学院
メンバー	岩本 友則	日本原燃(株)
	喜多 智彦	(社)日本原子力産業協会(JAIF)
	後藤 晃	中部電力(株)
	三倉 通孝	株式会社東芝
	志賀 道憲	日立 GE ニュークリア・エナジー(株)
	鈴木 克之	(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン (GNF-J)
	田邊 朋行	一般財団法人電力中央研究所
	玉井 広史	(独)日本原子力研究開発機構
	須田 一則	(独)日本原子力研究開発機構
	内田 光彦	三菱重工業株式会社
	稗田 恭久	原子燃料工業(株)
	深澤 哲生	日立 GE ニュークリア・エナジー(株)
	西川 進也	関西電力(株)
	宮本 直樹	(財)核物質管理センター
	齊藤 暢彦	東京電力(株)
	干場 静夫	(独)海洋研究開発機構
	彦坂 淳一	丸紅株式会社
	稲村 智昌	一般財団法人電力中央研究所
	田崎真樹子	東京大学大学院・日本原子力研究開発機構

本国際保障学研究会は、グローバル COE-GoNERI (東京大学大学院) 開始に際し、産業界/電力界/研究開発機関/大学等からなる参加者により、核不拡散の観点から原子力の将来の方向性などについて、自由な発想に基づく議論を展開することを目的に設置した研究会である。よって、ここに示した考え方は、参加者が、所属する企業・団体を代表するものではない。また、本報告書に記載された内容は、研究会で示された代表的な意見を集約したものであり、全てが全員の総意によるものではない。